

DE10311809

**Title:**

**Optical system for microlithography, has optical retarding system placed between two optical subsystems and includes optical retarding unit of one-half of wavelength between two mutually orthogonal states of polarization**

**Abstract:**

The system has two optical subsystems (3,5), with each subsystem having two birefringent optical units (7,9). An optical retarding system (13) with an optical retarding unit (15) is arranged between the two optical subsystems. The optical retarding unit e.g. a half-wave plate introduces a retardation of one-half of a wavelength between two mutually orthogonal states of polarization. An Independent claim is also included for a method of producing an optical system.



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 103 11 809 A 1**

⑤ Int. Cl.7:  
**G 03 F 7/20**  
G 02 B 19/00

⑲ Aktenzeichen: 103 11 809.8  
⑳ Anmeldetag: 12. 3. 2003  
㉑ Offenlegungstag: 2. 10. 2003

DE 103 11 809 A 1

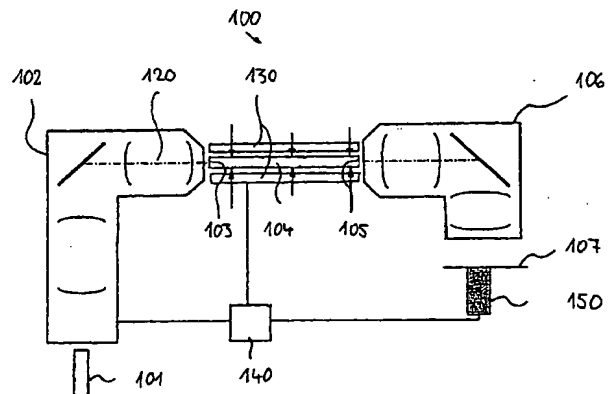
⑥⑥ Innere Priorität:  
102 11 762. 4 14. 03. 2002  
⑦① Anmelder:  
Carl Zeiss SMT AG, 73447 Oberkochen, DE  
⑦④ Vertreter:  
Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster &  
Partner, 70174 Stuttgart

⑦② Erfinder:  
Hartmaier, Jürgen, 73447 Oberkochen, DE;  
Cersowsky, Anton, 89551 Königsbronn, DE;  
Dieckmann, Nils, Dr., 73460 Hüttlingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Polarisationsoptimiertes Beleuchtungssystem

⑤⑦ Bei einem Beleuchtungssystem (130) mit einem Stabintegrator (104) als Lichtmischelement ist dem Stabintegrator eine Manipulationseinrichtung (130) zugeordnet, die mit Hilfe geeigneter Stellglieder und Kraftübertragungsglieder eine definierte Verteilung äußerer Druckkräfte auf den Stab bewirken kann. Die Manipulationseinrichtung ist derart einstellbar, dass im Stabintegrator unter Nutzung von spannungsinduzierter Doppelbrechung bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil erzeugt werden kann. Dieses kann so eingestellt werden, dass der Stabintegrator für Licht, das unter unterschiedlichen Eintrittswinkeln in den Integratorstab eintritt, im Wesentlichen polarisationserhaltend wirkt.



DE 103 11 809 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Beleuchtungssystem für eine optische Einrichtung, insbesondere für eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie, sowie auf eine mit einem derartigen Beleuchtungssystem ausgestattete Projektionsbelichtungsanlage.

[0002] Die Leistungsfähigkeit von Projektionsbelichtungsanlagen für die mikrolithographische Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen fein strukturierten Bauteilen wird wesentlich durch die Abbildungseigenschaften der Projektionsoptik bestimmt. Darüber hinaus wird die Bildqualität und der mit einer Anlage erzielbare Wafer-Durchsatz wesentlich durch Eigenschaften des dem Projektionsobjektiv vorgeschalteten Beleuchtungssystems mitbestimmt. Dieses muss in der Lage sein, das Licht einer Lichtquelle mit möglichst hohem Wirkungsgrad zu präparieren und dabei eine Lichtverteilung einzustellen, die bezüglich Lage und Form beleuchteter Bereiche genau definierbar ist und bei der innerhalb beleuchteter Bereiche eine möglichst gleichmäßige Intensitätsverteilung vorliegt. Diese Forderungen sollen bei allen einstellbaren Beleuchtungsmodi gleichermaßen erfüllt sein, beispielsweise bei konventionellen Settings mit verschiedenen Kohärenzgraden oder bei Ringfeld-, Dipol- oder Quadropolbeleuchtung, welche die Voraussetzungen für eine Abbildung der Retikelmuster mit hohem Interferenzkontrast sind.

[0003] Eine zunehmend wichtig werdende Forderung an Beleuchtungssysteme besteht darin, dass diese in der Lage sein sollten, Ausgangslicht mit einem möglichst genau definierbaren Polarisationszustand bereitzustellen. Beispielsweise kann es gewünscht sein, dass das auf die Photomaske oder in das nachfolgende Projektionsobjektiv fallende Licht weitgehend oder vollständig linear polarisiert ist und eine definierte Ausrichtung der Polarisationsvorzugsrichtung hat. Mit linear polarisiertem Eingangslicht können z. B. moderne katadioptrische Projektionsobjektive mit Polarisationsstrahlteiler (beam splitter cube, BSC) mit einem theoretischen Wirkungsgrad von 100% am Strahlteiler arbeiten. Es kann auch gewünscht sein, Beleuchtungslicht bereitzustellen, das im Bereich der Photomaske weitgehend unpolarisiert oder sehr gut zirkular polarisiert ist. Hierdurch können beispielsweise strukturellrichtungsabhängige Auflösungsunterschiede (H-V-Differenzen, CD-Variationen) vermindert oder vermieden werden, die auftreten können, wenn mit linear polarisiertem Licht beleuchtet wird und die typischen Strukturbreiten der abzubildenden Muster in der Größenordnung der verwendeten Wellenlänge liegen.

[0004] Eine weitere Forderung besteht insbesondere bei modernen mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlagen darin, dass eine im Bereich einer Pupillenebene des Beleuchtungssystems bereitgestellte Lichtverteilung unter weitgehender Erhaltung der Verteilung der Lichtenergie im Winkelraum, d. h. winkelerhaltend, in eine zur Pupillenebene des Beleuchtungssystems konjugierte Pupillenebene des Projektionsobjektivs übertragen werden sollte. Jede im Lichtweg zwischen den konjugierten Pupillenebenen eingeführte Veränderung des Winkelspektrums führt zu einer Verzerrung der in der Objektivpupille vorliegenden Intensitätsverteilung, was beispielsweise bei Dipol- oder Quadropolbeleuchtung zu einer unsymmetrischen Einstrahlung bei der bildgebenden Zweistrahlerinterferenz und damit zu einer Verschlechterung der Abbildungsleistung führen kann.

[0005] Durch Mischung des von einer Lichtquelle kommenden Lichtes mit Hilfe einer Lichtmischeinrichtung kann ein hoher Grad von Gleichmäßigkeit bzw. Homogenität der auf die Photomaske (Retikel) fallenden Beleuchtung erreicht werden. Bei Lichtmischeinrichtungen unterscheidet

man im wesentlichen zwischen Lichtmischeinrichtungen mit Wabenkondensoren und Lichtmischeinrichtungen mit Integratorstäben bzw. Lichtmischstäben. Systeme mit Integratorstäben zeichnen sich durch einen überlegenen Transmissionswirkungsgrad aus. Bei den hier bevorzugt betrachteten, für Ultraviolettlicht ausgelegten Beleuchtungssystemen besteht ein Integratorstab aus einem für das Licht der Lichtquelle transparenten Material und wird im wesentlichen entlang seiner Längsrichtung mit Licht einer gegebenen Apertur durchstrahlt. In dem Integratorstab wird das durchtretende Licht wie in einem Kaleidoskop vielfach an den lateralen Grenzflächen (Mantelflächen) total reflektiert, wodurch eine annähernd perfekte Mischung von nicht homogenen Anteilen des Lichts erzielbar ist. Die Wirksamkeit der Mischung hängt dabei von der Anzahl der Reflexionen in den einzelnen Richtungen über die Stablänge ab. Bei vorzugsweise Integratorstäben mit zueinander parallelen, ebenen lateralen Grenzflächen bleibt die Winkelverteilung des eintretenden Lichts praktisch vollständig erhalten.

[0006] Nachteilig bei Integratorstäben ist deren nur schlecht kontrollierbarer Einfluss auf den Polarisationszustand des durchtretenden Lichtes. Zum einen ist ein optischer Weg großer Länge im Einsatz. Auf diesem kann es aufgrund von intrinsischer oder induzierter Doppelbrechung zu unterschiedlich starken Verzögerungseffekten der in unterschiedliche Richtungen schwingenden Komponenten des elektrischen Feldvektors kommen. Zum anderen gibt es an den Seiten viele windschiefe Totalreflexionen, die durch ihre phasenschiebende Wirkung den Polarisationszustand des durchtretenden Lichtes unkontrollierbar verändern.

[0007] Beleuchtungssysteme für den UV-Bereich mit stabförmigen Lichtintegratoren sind beispielsweise in den Deutschen Patentanmeldungen DE 44 21 053, DE 195 20 363, DE 199 12 464 oder im US-Patent US 6,028,660 offenbart.

[0008] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein insbesondere für die Verwendung in einer mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlage geeignetes Beleuchtungssystem zu schaffen, welches das Licht einer zugeordneten Lichtquelle mit hohem Wirkungsgrad überträgt, einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Winkelverteilung des durchtretenden Lichtes hat und weitgehend unabhängig von eingestellten Beleuchtungsmodi eine definierte Einstellung des Polarisationszustandes des austretenden Lichtes erlaubt. Insbesondere soll eine weitgehend polarisationserhaltende Lichtmischung ermöglicht werden.

[0009] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Beleuchtungssystem mit den Merkmalen von Anspruch 1. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0010] Die Erfindung stellt ein Beleuchtungssystem bereit, das insbesondere in einer Mikrolithografie-Projektionsbelichtungsanlage genutzt werden kann und das mindestens einen aus transparentem Material bestehenden Stabintegrator zur Mischung des von einer Lichtquelle des Beleuchtungssystems kommenden Lichtes hat. Der Stabintegrator, der im folgenden auch als Integratorstab, Lichtmischstab oder Lichtmischer bezeichnet wird, hat bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil. Dies bedeutet, dass die Brechzahl des Materials des Stabintegrators an verschiedenen Orten des Stabes unterschiedlich ist, so dass eine nichtsymmetrische Brechzahlverteilung über den Querschnitt des Integratorstabes und/oder über die Länge des Integratorstabes vorliegt. Die räumliche Brechzahlverteilung ist dabei so ausgelegt, dass ein Polarisationsgrad des Lichtes an der Austrittsfläche des Stabintegrators (Stabaustritt) in ei-

ner vorgebbaren Beziehung zum Polarisationsgrad des Lichtes an der Eintrittsfläche des Stabintegrators (Stabeintritt) steht. Das nicht-symmetrische Brechzahlprofil ermöglicht somit eine Kontrolle der polarisationsverändernden Wirkung des Stabintegrators. Das nichtsymmetrische Brechzahlprofil kann insbesondere so ausgelegt sein, dass im Vergleich zu einem Stabintegrator mit symmetrischem Brechzahlprofil oder einer im wesentlichen gleichmäßigen Brechzahlverteilung eine wesentliche Verminderung einer durch den Stabintegrator bewirkten Veränderung des Polarisationsgrades des durch den Stabintegrator durchtretenden Lichtes erreicht wird. Insbesondere kann das nichtsymmetrische Brechzahlprofil so ausgelegt sein, dass der Stabintegrator bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems, vorzugsweise bei mehreren oder allen Beleuchtungsmodi, im wesentlichen polarisationserhaltend wirkt. Ein Stabintegrator gilt in dieser Anmeldung als "im wesentlichen polarisationserhaltend", wenn das Verhältnis zwischen dem Polarisationsgrad des Lichts am Stabeintritt und dem Polarisationsgrad am Stabaustritt nahe 1 liegt oder z. B. weniger als 20% oder 10% von diesem Wert abweicht. Der Polarisationsgrad  $P$  ist hier definiert als das Verhältnis der Intensität des polarisierten Lichtanteils zur Gesamtintensität des Lichtes. In diesem Sinne hat vollständig polarisiertes Licht Polarisationsgrad  $P = 1$ , während vollständig unpolarisiertes Licht  $P = 0$  hat. Bei  $0 < P < 1$  liegt partiell polarisiertes Licht vor.

[0011] Wird bei dem Beleuchtungssystem eine Lichtquelle eingesetzt, deren Strahlung im wesentlichen unpolarisiert ist (z. B. eine Hochdruck-Quecksilberdampfampe), so kann ohne weitere Maßnahme zur Polarisationsveränderung erreicht werden, dass das Austrittslicht des Stabintegrators ebenfalls mindestens näherungsweise unpolarisiert ist, was für eine Abbildung von Retikelstrukturen ohne richtungsabhängige Kontrastunterschiede günstig ist. Möglich ist auch, als Lichtquelle einen Laser zu verwenden, beispielsweise einen Excimer-Laser, dessen Ausgangslicht im wesentlichen linear polarisiert ist. Wird am Ausgang des Beleuchtungssystems unpolarisiertes Licht benötigt, so kann zwischen dem Laser und dem Stabintegrator ein Depolarisator angeordnet sein, der für weitgehend unpolarisiertes Eingangslicht am Stabintegrator sorgt. Unpolarisiertes Ausgangslicht kann vor allem in Verbindung mit refraktiven Projektionsobjektiven vorteilhaft sein. Wird linear polarisiertes Ausgangslicht benötigt, beispielsweise weil ein nachfolgendes Projektionsobjektiv einen Polarisationsstrahlteiler hat, so kann ein linear polarisiertes Licht abgebender Lichtquelle, z. B. ein Laser, beispielsweise mit Arbeitswellenlänge 157 nm, verwendet werden, dessen Ausgangslicht durch den Stabintegrator bezüglich seines Polarisationszustandes nicht oder nur unwesentlich beeinflusst wird, so dass das Austrittslicht des Beleuchtungssystems weitgehend den Polarisationsgrad des von der Laserlichtquelle kommenden Lichtes hat.

[0012] Es ist möglich, dass der Stabintegrator ein fest vorgegebenes und weitgehend unveränderliches nicht-symmetrisches Brechzahlprofil hat, das die gewünschte Polarisationswirkung des Stabintegrators bewirkt. Dies kann beispielsweise durch einen Aufbau des Stabintegrators aus Teilen mit unterschiedlichen Brechzahlen erreicht werden, wobei beispielsweise ein elliptischer Kern mit einer im Vergleich zum umgebenden Material abweichenden Brechzahl vorhanden sein kann. Häufig ist es jedoch gewünscht, wenn die Wirkung des Stabintegrators auf den Polarisationszustand des durchtretenden Lichtes gezielt eingestellt und gegebenenfalls verändert werden kann. Bei einer Weiterbildung der Erfindung ist hierzu vorgesehen, dass der Stabintegrator aus einem Spannungsdoppelbrechung (SDB) aufwei-

senden Material besteht und dass dem Stabintegrator eine Manipulatoreinrichtung zur selektiven Beaufschlagung mindestens einer Mantelfläche des Stabintegrators an mindestens einem Beaufschlagungsort mit einer äußeren Kraft zugeordnet ist, wobei die Manipulatoreinrichtung vorzugsweise derart einstellbar ist, dass im Stabintegrator unter Nutzung von spannungsinduzierter Doppelbrechung bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil erzeugt wird. Das Brechzahlprofil kann dabei beispielsweise so eingestellt sein, dass eine durch den Stabintegrator bewirkte Änderung des Polarisationsgrades des durch den Stabintegrator durchtretenden Lichtes minimiert wird. Mit Hilfe der Manipulatoreinrichtung, die beispielsweise als Spannvorrichtung gestaltet sein kann, ist es möglich, die Spannungsdoppelbrechung bzw. deren Verteilung innerhalb des Stabintegrators zu variieren, um einen gewünschten Einfluss des Stabintegrators auf den Polarisationszustand zu erzielen.

[0013] Als Materialien für den Stabintegrator kommen bei Anwendungen im tiefen UV-Bereich beispielsweise Fluoridkristallmaterialien wie Kalziumfluorid ( $\text{CaF}_2$ ), Bariumfluorid ( $\text{BaF}_2$ ), Lithiumfluorid ( $\text{LiF}$ ) oder Magnesiumfluorid ( $\text{MgF}_2$ ) in Betracht, ggf. auch Saphir ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Diese Materialien sind bei 193 nm oder 157 nm Wellenlänge noch gut transparent und zeigen die durch Einleitung äußerer Kräfte induzierte Spannungsdoppelbrechung sowie intrinsische Doppelbrechung.

[0014] Die Manipulatoreinrichtung kann so eingerichtet sein, dass im Stabintegrator ein fest vorgegebenes Brechzahlprofil fest eingestellt wird. Vorzugsweise hat die Manipulatoreinrichtung mindestens ein durch eine Steuereinrichtung ansteuerbares Stellglied zur Erzeugung der an der Mantelfläche angreifenden Kraft in Abhängigkeit eines Steuersignals der Steuereinrichtung. Dadurch kann mit Hilfe der Steuereinrichtung die Brechzahlverteilung im Stabintegrator variiert werden, um eine Anpassung an unterschiedliche Anforderungen zu erreichen. Um auch komplexe Brechzahlverteilungen mindestens annähernd einstellen zu können, kann es günstig sein, wenn die Manipulatoreinrichtung für jede der Mantelflächen des Stabintegrators mindestens ein Stellglied bzw. mindestens einen Aktuator umfasst. Häufig ist es günstig, wenn mehrere unabhängig voneinander ansteuerbare Stellglieder entlang der Länge des Stabintegrators und/oder um den Umfang des Stabintegrators verteilt angeordnet sind.

[0015] Stabintegratoren aus transparentem Material wirken über mehrfache Totalreflexion an den Mantelflächen. Damit die Totalreflexion an den Stellen der externen Kräfteinleitung so wenig wie möglich gestört wird, ist bei bevorzugten Ausführungsformen vorgesehen, dass mindestens ein Kraftübertragungsglied der Manipulatoreinrichtung, mit dem die Kraft in den Stabintegrator eingeleitet wird, über eine schmale Kante zur Kräfteinleitung entlang einer schmalen Linie verfügt. Dadurch kann eine Minimierung der Störung der Totalreflexion im Stabintegrator erreicht werden und Reflexionsverluste werden minimiert. Die Kraftübertragungsglieder können beispielsweise nach Art von Messerschneiden ausgeführt sein. Die durch den Schneidenverlauf bestimmte Kraftübertragungslinie kann gerade oder gekrümmt sein. Insbesondere sind auch ringförmig geschlossene Schneiden (Ringschneiden) möglich, die z. B. einen kreisrunden oder ovalen Verlauf haben können und einen ausgedehnten Kraftübertragungsbereich einschließen. Durch Ringschneiden kann die Kraft besonders schonend und gut dosierbar in das Stabmaterial eingeleitet werden.

[0016] Als Stellglieder kommen beispielsweise elektrisch ansteuerbare Aktuatoren in Betracht, die insbesondere piezoelektrische Elemente enthalten können. Auch magnetisch

oder elektrostatisch steuerbare Aktuatoren sind möglich. Alternativ oder zusätzlich können fluidmechanisch ansteuerbare Aktuatoren vorgesehen sein, beispielsweise Pneumatikzylinder oder Hydraulikzylinder. Alternativ oder zusätzlich sind mechanisch oder elektromechanisch arbeitende Stellglieder möglich. Beispielsweise können eine oder mehrere Stellschrauben vorgesehen sein, um die erforderliche Spannkraft an vorgegebenen Orten aufzubringen.

[0017] Moderne Projektionsbelichtungsanlagen sollen es dem Nutzer ermöglichen, die Eigenschaften des Beleuchtungslichtes an die strukturellen Besonderheiten der abzubildenden Maskenstruktur anzupassen. Teils sind verschiedene einstellbare Beleuchtungsmodi verfügbar, beispielsweise konventionelle Settings mit verschiedenen Kohärenzgraden oder außeraxiale Beleuchtung, wie beispielsweise annulare Beleuchtung, Dipol- oder Quadrupolbeleuchtung. Bei den unterschiedlichen Beleuchtungsmodi liegen am Stabeneintritt unterschiedliche Winkelverteilungen des eintretenden Lichtes vor. Daher wird im Allgemeinen der Einfluss des Stabintegrators auf den Polarisationsgrad der eintretenden Strahlung auch vom Beleuchtungssetting abhängen. Um hierdurch entstehende Probleme zu vermeiden, ist bei einer Weiterbildung vorgesehen, dass die Manipulatoreinrichtung eine Steuereinrichtung umfasst, die derart konfiguriert ist, dass eine Krafteinleitung am Stabintegrator in Abhängigkeit von dem am Beleuchtungssystem eingestellten Beleuchtungsmodus einstellbar ist. Dabei kann die Steuereinrichtung beispielsweise so konfiguriert sein, dass der Stabintegrator für jeden der einstellbaren Beleuchtungsmodi weitgehend polarisationserhaltend wirkt. Da in der Regel für jeden Beleuchtungsmodus eine andere Spannkraftverteilung innerhalb des Stabintegrators für die Erzielung eines gewünschten Polarisationsverhaltens des Stabintegrators erforderlich ist, werden auch bei der Umstellung zwischen unterschiedlichen Beleuchtungsmodi ein oder mehrere Stellglieder der Manipulatoreinrichtung aktiviert werden, um die Krafteinleitung an die Winkelverteilung des Eintrittslichtes anzupassen.

[0018] Bei einer Weiterbildung werden die für die gewünschte Polarisationsbeeinflussung durch den Stab benötigten Kräfte auf den Stabintegrator experimentell in einer Prüfvorrichtung bestimmt und gegebenenfalls eingestellt. Die Prüfvorrichtung kann durch das mit dem Stabintegrator versehene Beleuchtungssystem gebildet werden, an dessen Ausgang eine polarisationsselektive Messeinrichtung vorgesehen ist, mit der beispielsweise der Polarisationsgrad des Austrittslichtes in der Austrittsebene des Beleuchtungssystems gemessen werden kann. Für die Vermessung kann zunächst Beleuchtungslicht erzeugt werden, beispielsweise durch eine Laser-Lichtquelle. Der Polarisationszustand des Beleuchtungslichtes wird vermessen und als Ergebnis der Messung wird ein Kontrollsignal erzeugt. Auf Grundlage des Kontrollsignals kann eine gesteuerte Veränderung der auf den Stabintegrator wirkenden Verteilung äußerer Kräfte vorgenommen werden, um den gemessenen Ist-Zustand an einen vorgegebenen Soll-Zustand anzugleichen. Beispielsweise kann der Stabintegrator mit Hilfe der Manipulatoreinrichtung auf Polarisationserhaltung für ein bestimmtes Beleuchtungssetting eingestellt werden. Soll eine Eichung für mehrere unterschiedliche Beleuchtungssettings vorgenommen werden, so wird zunächst bei einem ersten Beleuchtungsmodus gemessen und eingestellt und nach einer Umstellung zwischen einem ersten und einem zweiten Beleuchtungsmodus die Vermessung und die gesteuerte Veränderung der Krafteinleitung für den zweiten Beleuchtungsmodus vorgenommen. Auf diese Weise kann ein Kennfeld ermittelt werden, bei dem die optimalen Einstellungen der Manipulatoreinrichtungen für verschiedene Beleuchtungs-

settings erfasst werden. Eine nachfolgende Steuerung der Manipulatoreinrichtung im Betrieb des Beleuchtungssystems kann dann auf Grundlage dieses Kennfeldes durchgeführt werden.

5 [0019] Die vorstehenden und weitere Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und aus den Zeichnungen hervor.

[0020] Dabei können die einzelnen Merkmale jeweils für sich alleine oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhafte sowie für sich schutzfähige Ausführungsformen darstellen.

10 [0021] Fig. 1 zeigt in schematischer Darstellung eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Beleuchtungssystems mit Stabintegrator für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage; und

15 [0022] Fig. 2 zeigt eine schematische, perspektivische Ansicht eines Stabintegrators, der entlang seiner Mantelflächen mit mechanischen Kräften beaufschlagt wird.

20 [0023] In Fig. 1 ist in schematischer Darstellung ein Ausführungsbeispiel eines Beleuchtungssystems 100 für eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage gezeigt. Als Lichtquelle 101 kann unter anderem ein DUV oder VUV-Laser eingesetzt werden, beispielsweise ein ArF-Laser für 193 nm, oder F<sub>2</sub>-Laser für 157 nm. Diese Excimer-Laser erzeugen weitgehend linear polarisiertes Licht. Eine Kollektoreinheit 102 fokussiert das Licht der Lichtquelle 101 auf die Eintrittsfläche 103 eines Stabintegrators 104. Die Austrittsfläche 105 des Stabintegrators wird mit einem Abbildungssystem 106, das auch als REMA-Objektiv bezeichnet wird, in eine Austrittsebene 107 des Beleuchtungssystems abgebildet. Bei einem in eine Projektionsbelichtungsanlage eingebauten Beleuchtungssystem entspricht die Austrittsebene 107 der Retikelebene, in der eine Maske (Retikel) angeordnet wird, deren Struktur mit einem nachfolgenden (nicht gezeigten) Projektionsobjektiv auf einen zu belichtenden Gegenstand, beispielsweise eine mit Photoreist beschichteten Halbleiterwafer abgebildet wird. Ein derartiges Beleuchtungssystem ist in der DE 195 48 805 (entsprechend US 5,982,558) näher beschrieben, deren Offenbarungsgesamt durch Bezugnahme zum Inhalt dieser Beschreibung gemacht wird.

40 [0024] Der Stabintegrator 104 wird durch einen Kalziumfluorid-Stab mit einem rechteckförmigen Querschnitt gebildet (vgl. Fig. 2). Er hat paarweise parallel zueinander verlaufende, ebene Mantelflächen, nämlich zwei schmale, seitliche Mantelflächen 111, 112 und größere obere bzw. untere Mantelflächen 113, 114. Das Material des Stabintegrators weist Spannungsdoppelbrechung (SDB) auf, kann also durch Einwirkung äußerer Druck- oder Zugkräfte bezüglich seiner doppelbrechenden Eigenschaften verändert werden. Insbesondere kann durch äußere Kräfte die räumliche Brechzahlverteilung innerhalb des Stabes beeinflusst und ggf. variiert werden. Die optische Achse 120 des Stabintegrators fällt im eingebauten Zustand mit der optischen Achse des Beleuchtungssystems zusammen.

55 [0025] Der Stabintegrator ist von einer Manipulatoreinrichtung 130 umgeben, die gleichzeitig als Halteeinrichtung für den Stabintegrator und als Spannvorrichtung dient, um den Stabintegrator an definiert vorgegebenen Stellen mit äußeren Kräften zu beaufschlagen, um im Stabintegrator ein gewünschtes Brechzahlprofil einzustellen. Die Kräfte sind in den Zeichnungsfiguren durch Pfeile symbolisiert, deren Richtung die Beaufschlagungsrichtung und deren Länge den Betrag der Kraft symbolisiert.

60 [0026] Bei der gezeigten Projektionsbelichtungsanlage ist das (nicht gezeigte) Projektionsobjektiv, dessen Objektebene mit der Retikelebene 107 zusammenfällt, ein kata-

dioptrisches Reduktionsobjektiv mit einem polarisationsselektiven, physikalischen Strahlteiler (beam splitter cube, BSC). Um dieses Objektiv mit optimalem Transmissionswirkungsgrad betreiben zu können, sollte das Ausgangslicht linear polarisiert sein. Das Ausgangslicht des Lasers 101 ist nahezu linear polarisiert mit einem Polarisationsgrad  $P$  nahe eins. Im Lichtweg zur Retikelebene 107 erfährt das Austrittslicht Änderungen seines Polarisationszustandes. Dabei können doppelbrechende Elemente für ein Strahlbüschel zu optischen Wegunterschieden für zwei zueinander orthogonale Polarisationszustände führen, welche über das Strahlbüschel lokal variieren können. Optische Wegunterschiede können beispielsweise durch unter Spannung stehende Linsen aus Fluoridkristallmaterial oder durch optische Beschichtungen (Antireflexbeschichtungen, Reflexbeschichtungen) verursacht werden, vor allem wenn sie unter großen Incidenzwinkelbereichen betrieben werden. Ein Stabintegrator hat dabei normalerweise einen sehr starken, depolarisierenden Einfluss auf das durchtretende Licht. Dieser wird zum einen dadurch verursacht, dass ein optischer Weg großer Länge im Einsatz ist, auf dem es aufgrund von intrinsischer und/oder induzierter Doppelbrechung zu unterschiedlich starken Verzögerungseffekten für die in unterschiedlichen Richtungen schwingenden Komponenten des elektrischen Feldvektors kommen kann. Zum anderen führen die vielen windschiefen Totalreflexionen an den Mantelflächen, die für die Lichtmischung notwendig sind, zur Phasenverschiebung der Feldkomponenten und ändern damit den Polarisationszustand des durchtretenden Lichtes unkontrollierbar. Dadurch wirkt ein herkömmlicher Stabintegrator in der Regel stark depolarisierend.

[0027] Wird in der Retikelebene 107 linear polarisiertes Licht benötigt, so kann dies durch einen dem Stabintegrator nachgeschalteten Polarisationsfilter erreicht werden, der wiederum linear polarisiertes Licht erzeugt. Diese Filterung wird jedoch zu Lichtverlusten führen.

[0028] Bei der gezeigten Ausführungsform wirkt der Stabintegrator 104 dagegen weitgehend polarisationserhaltend. Dies bedeutet, dass der Polarisationszustand des Lichtes am Stabaustritt 105 im wesentlichen dem Polarisationszustand am Stabeintritt 103 entspricht. Dies wird dadurch erreicht, dass mit Hilfe der Manipulatoreinrichtung 130 in dem doppelbrechenden Material ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil erzeugt wird. Dazu wird die räumliche Brechzahlverteilung in Stab längsrichtung und über den Stabquerschnitt so eingestellt, dass sich weitgehende Polarisationserhaltung ergibt. Hierzu hat die Manipulatoreinrichtung 130 eine Vielzahl von Kraftübertragungsgliedern, die an den Mantelflächen 111 bis 114 des Stabintegrators an unterschiedlichen Stellen in Stab längsrichtung und um den Umfang des Stabes angreifen und über elektrisch ansteuerbare Stellglieder mit vordefinierten Kräften beaufschlagt werden können. Dadurch kann gemäß einer vorgegebenen Kraftverteilung eine statische Kraft auf die Mantelflächen des Stabes eingeprägt werden, welche ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil erzeugt.

[0029] Bei der gezeigten Ausführungsform sind an jeder der Mantelflächen 111 bis 114 mehrere Kraftübertragungsglieder angebracht, die der Krafteinleitung dienen. Damit an den Orten der Krafteinleitung die Totalreflexion an den Mantelflächen nicht stärker als nötig gestört wird, haben die Kraftübertragungsglieder sehr schmale Kanten nach Art von Messerschneiden und greifen die entlang von schmalen Linien an den Mantelflächen an. Typische Breiten der Krafteinleitungslinien können im Bereich einiger Mikrometer bis Zehntelmillimeter liegen. Hierdurch können die Lichtverluste an den Mantelflächen klein gehalten werden.

[0030] Bei der gezeigten Ausführungsform hat die Manipulatoreinrichtung eine Mehrfachanordnung vieler kleiner

Ringschneiden, die über die Mantelflächen verteilt sind, beispielsweise in gleichmäßigen Abständen. In Fig. 2 ist beispielsweise eine an der seitlichen Mantelfläche 111 angreifende Ringschneide 135 im Schnitt gezeigt. Sie umfasst eine stabile Druckscheibe, an deren kreisrundem Umfang auf der dem Stabintegrator 104 zugewandten Seite ein schmaler, messerschneidenartiger Vorsprung vorgesehen ist. Über diesen Schneidenring wird die Kraft entlang einer gestrichelt dargestellten, geschlossenen Kreislinie unter Vermeidung von lokalen Spitzenbelastungen in das Stabmaterial eingeleitet. Dadurch ist eine gut dosierbare, das Stabmaterial schonende Krafteinleitung mit minimaler Störung der Totalreflexion möglich.

[0031] Als Stellglieder sind den Ringschneiden piezoelektrische Elemente zugeordnet, die über eine Steuereinrichtung 140 ansteuerbar sind, um variabel einstellbare Kräfte auf die Mantelflächen auszuüben. Die Steuereinrichtung 140 ist so konfiguriert, dass die Steuerspannungen für die piezoelektrischen Elemente für jede Ringschneide separat eingestellt werden können.

[0032] Durch die einzelnen Ringschneiden, die mit geeigneten Abständen in Längsrichtung des Stabes aufeinanderfolgen können, können innerhalb des Stabes durch induzierte Doppelbrechung Zonen mit einer Verzögerungswirkung erzeugt werden, deren Stärke von Betrag und Richtung der äußeren Kräfte abhängt. Die Kräfte können dabei so eingestellt werden, dass ein am Eintritt des Stabes eingekoppeltes, linear polarisiertes Licht über gewisse Strecken des Stabes elliptisch polarisiert durch den Stab verläuft und schließlich am Austritt 105 des Stabes wieder weitgehend linear polarisiert ist.

[0033] Die benötigten Kräfte auf der Integratorstab, bzw. deren Verteilung, werden bei der gezeigten Ausführungsform mit Hilfe einer polarisationsselektiven Messeinrichtung 150 bestimmt, mit der der Polarisationsgrad des vom Beleuchtungssystem abgegebenen Beleuchtungslichts in der Austrittsebene 107 bestimmt werden kann. Die Messeinrichtung 150 bildet zusammen mit dem gesamten Beleuchtungssystem eine Prüf und Einstellvorrichtung für die Krafteinleitung am Integratorstab. Die Kontrolle kann beispielsweise mit linear polarisiertem Licht des Lasers 101 durchgeführt werden, also bei der Arbeitswellenlänge des Stabintegrators. Die Messvorrichtung 150 kann zwei gekreuzte, parallele Polarisatoren umfassen. Am Beleuchtungssystem wird dann mit Hilfe geeigneter, ggf. verstellbarer und/oder austauschbarer optischer Elemente in der Kollektoreinheit 102 ein erster Beleuchtungsmodus eingestellt, beispielsweise konventionelle Beleuchtung mit einem vorgegebenen Kohärenzgrad ( $\sigma$ -Wert), der einer bestimmten Winkelverteilung der in den Stabeintritt 103 gelangenden Strahlung entspricht. Ein den Beleuchtungsmodus repräsentierendes Modussignal wird an die Steuereinrichtung 140 übermittelt. Für die eingestellte Winkelverteilung wird nun für verschiedene Feldpunkte innerhalb der Retikelebene 107 der Polarisationszustand des Lichtes bestimmt. Daraus werden eine oder mehrere Kontrollsignale erzeugt, die an die Steuereinrichtung 140 übermittelt werden und die den Polarisationszustand des Austrittslichtes repräsentieren. In Abhängigkeit dieser Signale sendet die Steuereinrichtung 140 Steuersignale für die Manipulatoreinrichtung 130 bzw. deren Stellglieder aus, um am Integratorstab die Verteilung der von außen einwirkenden Kräfte so zu ändern, dass in der Austrittsebene 107 der gewünschte Polarisationszustand, beispielsweise weitgehend linear polarisiertes Licht, vorliegt. Auf diese Weise kann für ein vorgegebenes Beleuchtungssetting der Integratorstab auf weitgehende Polarisationserhaltung eingestellt werden.

[0034] Die beschriebene Einstellung einer geeigneten Kraftverteilung am Integratorstab wird vorzugsweise für verschiedene Beleuchtungssettings durchgeführt, um für jedes der Beleuchtungssettings, d. h. für jede Winkelverteilung am Stabeintritt 103, die Kraftverteilung am Integratorstab zu ermitteln, die den Stab weitgehend polarisationserhaltend macht. Auf diese Weise kann ein Kennfeld bzw. eine Kennfunktion erzeugt werden, die die Abhängigkeit der an der Manipulatoreinrichtung 130 einzustellenden Kraftverteilung vom Beleuchtungssetting repräsentiert. Die Kennfunktion kann an einen Speicher der Steuereinrichtung 140 hinterlegt werden. Im Betrieb der Projektionsbelichtungsanlage kann dann beim Wechsel zwischen verschiedenen Beleuchtungsmodi durch die Manipulatoreinrichtung 130 die Kraftverteilung am Stabintegrator so variiert werden, dass der Stab für alle Beleuchtungssettings im wesentlichen polarisationserhaltend wirkt.

[0035] Es ist für den Fachmann verständlich, dass es mit Hilfe der Manipulatoreinrichtung 130 möglich ist, unterschiedliche Brechzahlverteilungen innerhalb des Stabintegrators und damit unterschiedliche Polarisationswirkung der Stabintegrators einzustellen. Durch entsprechende Kräfteverteilung kann der Stabintegrator auch als Depolarisator konfiguriert werden, falls beispielsweise die Maske mit unpolarisiertem Licht beleuchtet werden soll.

[0036] Die Wirksamkeit dieses Prinzips konnte durch Tests nachgewiesen werden. Bei einem Modellversuch wurde ein linear polarisierter Lichtstrahl mit Arbeitswellenlänge 193 nm und einem Winkel von wenigen Graden relativ zur optischen Achse schräg in einen Integratorstab aus Kalziumfluorid eingekoppelt. Solange der Integratorstab weitgehend frei von äußeren Kräften war, war das Licht nach Austritt aus dem Integratorstab elliptisch polarisiert. Danach wurde über eine Ringschneide auf die Mantelflächen eine Kraft aufgebracht, wodurch entlang einer linienhaften Auflagefläche ein Druck in einer Größenordnung von ca. 1 MPa (geschätzt) erzeugt wurde. Die Kraft reicht aus, um in dem einkristallinen Stabmaterial Spannungsdoppelbrechung zu erzeugen, durch die eine Veränderung des Polarisationsgrades des Austrittslichtes bewirkt wurde. Durch unterschiedliche Kräfte bzw. Kraftverteilungen am Stab konnte die Hauptachse der Polarisation (Polarisationsvorzugsrichtung) gedreht werden. Mit einer Mehrfachanordnung von mehreren, unabhängig voneinander ansteuerbaren Ringschneiden kann eine gezielte Einstellung des Polarisationsgrades des Austrittslichtes erreicht werden.

#### Patentansprüche

1. Beleuchtungssystem, insbesondere für eine Mikrolithografie-Projektionsbelichtungsanlage, mit mindestens einem aus transparentem Material bestehenden Stabintegrator (104) zur Mischung des von einer Lichtquelle (101) des Beleuchtungssystems kommenden Lichtes, wobei der Stabintegrator bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil hat.
2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, bei dem das nichtsymmetrische Brechzahlprofil derart ausgelegt ist, dass im Vergleich zu einem Stabintegrator mit symmetrischem Brechzahlprofil, insbesondere mit einer im wesentlichen gleichmäßigen Brechzahlverteilung, eine wesentliche Verminderung einer durch den Stabintegrator (104) bewirkten Veränderung des Polarisationsgrades des durch den Stabintegrator durchtretenden Lichts erreicht wird.
3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1 oder 2, bei

dem das nichtsymmetrische Brechzahlprofil so ausgelegt ist, dass der Stabintegrator (104) bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems (100) im wesentlichen polarisationserhaltend wirkt.

4. Beleuchtungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Stabintegrator (104) aus einem Spannungsdoppelbrechung (SDB) aufweisenden Material besteht und bei dem dem Stabintegrator mindestens eine Manipulatoreinrichtung (130) zur selektiven Beaufschlagung mindestens einer Mantelfläche (111 bis 114) des Stabintegrators an mindestens einem Beaufschlagungsort mit einer äußeren Kraft zugeordnet ist, wobei die Manipulatoreinrichtung vorzugsweise derart einstellbar ist, dass im Stabintegrator unter Nutzung von spannungsinduzierter Doppelbrechung bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein nicht-symmetrisches Brechzahlprofil erzeugbar ist.

5. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4, bei dem die Manipulatoreinrichtung (130) derart einstellbar ist, dass eine durch den Stabintegrator (104) bewirkte Änderung des Polarisationsgrades des durch den Stabintegrator durchtretenden Lichtes minimiert wird.

6. Beleuchtungssystem nach Anspruch 4 oder 5, bei dem die Manipulatoreinrichtung (130) mindestens ein durch eine Steuereinrichtung (140) ansteuerbares Stellglied zur Erzeugung einer an einer Mantelfläche (111 bis 114) des Stabintegrators angreifenden Kraft in Abhängigkeit eines Steuersignals der Steuereinrichtungen umfasst.

7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6, bei dem die Manipulatoreinrichtung (130) für jede der Mantelflächen (111 bis 114) des Stabintegrators (104) mindestens ein Stellglied umfasst.

8. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6 oder 7, bei dem mehrere unabhängig voneinander ansteuerbare Stellglieder entlang der Länge des Stabintegrators und/oder um den Umfang des Stabintegrators verteilt angeordnet sind.

9. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 8, bei dem die Manipulatoreinrichtung (130) als Stellglied mindestens einen elektrisch ansteuerbaren Aktuator, insbesondere mindestens ein piezoelektrisches Element, enthält.

10. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 9, bei dem die Manipulatoreinrichtung als Stellglied mindestens einen fluidmechanisch ansteuerbaren Aktuator enthält, insbesondere mindestens einen Pneumatikzylinder oder Hydraulikzylinder, enthält.

11. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 10, bei dem die Manipulatoreinrichtung mindestens ein mechanisch oder elektromechanisch arbeitendes Stellglied umfasst, insbesondere mindestens eine als Stellglied wirksame Stellschraube

12. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 11, bei dem die Manipulatoreinrichtung mindestens ein Kraftübertragungsglied hat, das über mindestens eine schmale Kante zur Krafteinleitung entlang einer schmalen Linie verfügt, wobei das Kraftübertragungsglied vorzugsweise eine Ringschneide (135) umfasst.

13. Beleuchtungssystem nach einem der Ansprüche 4 bis 12, bei dem der Manipulatoreinrichtung (130) eine Steuereinrichtung (140) zugeordnet ist, die derart konfiguriert ist, dass eine Krafteinleitung am Stabintegrator (104) in Abhängigkeit von einem am Beleuchtungssystem eingestellten Beleuchtungsmodus einstellbar ist.

14. Beleuchtungssystem nach Anspruch 13, bei dem

die Steuereinrichtung (140) derart konfiguriert ist, dass der Stabintegrator für jeden der am Beleuchtungssystem einstellbaren Beleuchtungsmodi im wesentlichen die gleiche polarisationsoptische Wirkung hat, insbesondere im wesentlichen polarisationserhaltend wirkt. 5

15. Beleuchtungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dem eine polarisationsselektive Messeinrichtung (150) zur Erfassung des Polarisationszustandes des von dem Beleuchtungssystem (100) abgegebenen Beleuchtungslichtes zugeordnet ist. 10

16. Verfahren zur Erzeugung von Beleuchtungslicht mit Hilfe eines Beleuchtungssystems, das mindestens einen aus transparentem Material bestehenden Stabintegrator zur Mischung des von einer Lichtquelle des Beleuchtungssystems kommenden Lichtes hat, mit folgendem Schritt: 15

Erzeugung eines nicht-symmetrischen Brechzahlprofils des Stabintegrators derart, dass ein Polarisationsgrad des Lichtes an einer Austrittsfläche des Stabintegrators in einer vorgebbaren Beziehung zum Polarisationsgrad des Lichtes an der Eintrittsfläche des Stabintegrators steht. 20

17. Verfahren nach Anspruch 16, bei dem bei mindestens einem Beleuchtungsmodus des Beleuchtungssystems ein Brechzahlprofil erzeugt wird, das derart ausgelegt ist, dass der Stabintegrator im wesentlichen polarisationserhaltend wirkt. 25

18. Verfahren nach Anspruch 16 oder 17 mit folgendem Schritt:

Erzeugung eines nicht-symmetrischen Brechzahlprofils in dem Stabintegrator dadurch, dass der Stabintegrator aus einem Spannungsdoppelbrechung aufweisenden Materials besteht und mindestens eine Mantelfläche des Stabintegrators an mindestens einem Beaufschlagungsort mit einer äußeren Kraft zur Einstellung eines vorgegebenen Brechzahlprofils beaufschlagt wird. 30 35

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 18 mit folgenden Schritten:

Umstellung des Beleuchtungssystems von einem ersten Beleuchtungsmodus auf einen zweiten Beleuchtungsmodus; 40

Gesteuerte Veränderung einer auf den Stabintegrator wirkenden Verteilung äußerer Kräfte in Abhängigkeit von der Umstellung, wobei die gesteuerte Veränderung vorzugsweise derart durchgeführt wird, dass ein Polarisationsgrad des vom Beleuchtungssystem abgegebenen Beleuchtungslichtes im wesentlichen unabhängig vom Beleuchtungsmodus ist. 45

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 16 bis 19 mit folgenden Schritten: 50

Vermessen des Polarisationszustandes des von dem Beleuchtungssystem abgegebenen Beleuchtungslichtes zur Erzeugung mindestens eines den Polarisationszustand repräsentierenden Kontrollsignals; 55

Einstellung einer auf den Stabintegrator wirkenden Verteilung äußerer Kräfte in Abhängigkeit von dem Kontrollsignal.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

60

65



- Leerseite -

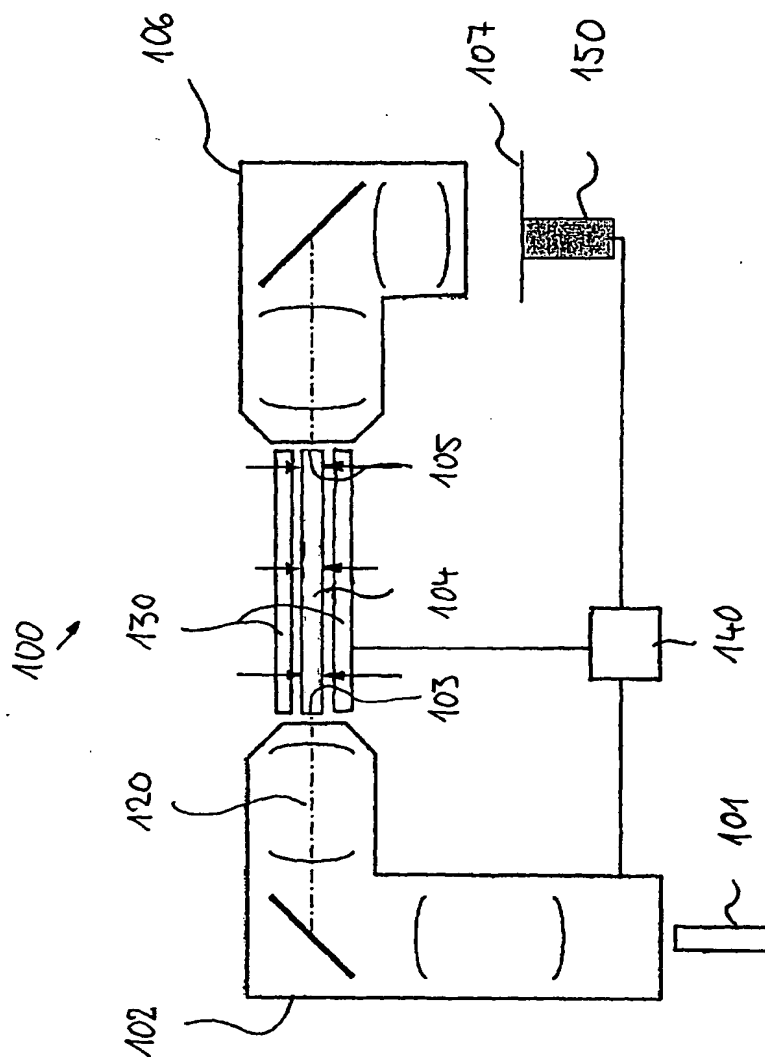


Fig. 1

Fig. 2

